

Žurnāls *Būvinženieris* sadarbībā ar kompāniju *Mikrokods* publicē rakstu sēriju par datormodelēšanas iespējām projektēšanā – programmas *Plaxis 3D* izmantošanu. Šī ir pirmā sērijas publikācija, turpinājumu gaidiet nākamajā numurā.

# Datoru modeļi ģeotehniskajā projektēšanā



**Kārlis Kukemilks, Dr. rer. nat., SIA Inženieru birojs Būve un forma konstrukciju būvinženieris**

Attēli no autora albuma

**Būvniecībā ik uz soļa redzam, cik efektīvi ar matemātiskām metodēm var prognozēt būvobjekta stiprību un deformācijas.**

Ik dienu izpildām aprēķinus, tomēr jautājums – kādēļ dažādu procesu prognozēšanai tik efektīvi pielietojama matemātiskā skaitļu valoda – nav vienkāršs. Zinātnieku vidū joprojām nav vienprātības, vai visuma likumi ir rakstīti matemātikas valodā, kā savulaik formulēja Galilejs, vai arī matemātika ir cilvēka konstrukts, kas labi apraksta visumu. Neraugoties uz diskusijām, būvniecībā matemātiskās metodes objektu stiprībai plaši lietojamas ikdienā.

**Uzlabo būvpatnes projektēšanu**

Statiskie aprēķini ir nozīmīga būvprojekta sa-

stāvdaļa, lai garantētu būves drošumu ekspluatācijā. Ne mazāk svarīga ir ēkas mijiedarbība ar būvpatni, ko apskata ģeotehniskajā projektēšanā, lai garantētu ēkas stabilitāti un drošumu būvdarbu gaitā. Tomēr līdz šim tieši būvju ģeotehniskajai projektēšanai raksturīga visaugstākā nenoteiktība, kas apgrūtina precīzu prognozēšanu.

Tam varētu būt vairāki iemesli. Mūsdienās ar jaunākajām ģeofizikālās izpētes metodēm mēs aizvien nespējam pietiekami precīzi caurskatīt zemes slāņus, tādēļ nākas paļauties uz tiešiem urbumiem un zondējumiem, kuri ir 2D punktveida mērījumi un nesniedz pilnīgu informāciju par 3D pazemes uzbūvi. Turklāt lokālos urbumos noņemtie grunts paraugi neraksturo visu grunts masīvu kopumā. Gruntīm atšķirībā no lielākās daļas būvmate-

riālu piemīt daudz augstāka fizikāli mehānisko raksturlielumu nevienādība, kas kavē precīzu būvpatnes modeļu veidošanu.

Atšķirībā no spiestu-stieptu stieņu sistēmas kopnē spriegumu sadalījuma noteikšanai grunts masīvā nepieciešami daudz sarežģītāki aprēķini, kuri nesnā pagātnē uz papīra bija grūti izpildāmi. Apstākļus būvpatnē sarežģī arī pazemes ūdeņi, kas var mainīt grunts īpašības un spriegumu sadalījumu.

Lai gan vēl joprojām būvpatnes modelēšanā jāreķinās ar augstu nenoteiktību, ar jaunākajiem datoru modeļiem šos aprēķinus var krietni uzlabot, sasniedzot vēsturiski augstāko modeļu precizitāti.

## Padziļināta izpēte

Būves nulles ciklam Latvijas ģeoloģiskajos apstākļos bieži nepieciešami apjomīgi ieguldījumi, jo pamatnē iegul zemas nestspējas slāņi. Irdeni smilšainie nogulumi ar organiskās izcelsmes dūņainajiem vai kūdrainajiem starpslāņiem bieži sastopami piejūras zemienē, kur koncentrējas liela daļa Latvijas ēku un infrastruktūras objektu. Būvdarbus sarežģī arī augsts gruntsūdens līmenis un spiedūdēņu klātbūtne, kas jāņem vērā, plānojot būvdarbus zem gruntsūdens līmeņa.

Iepriekš minētie faktori bieži rada vajadzību pēc padziļinātas būvpatnes izpētes būvprojekta izstrādei, ietverot ģeotehnisko monitoringu būvdarbu vai ēkas ekspluatācijas laikā. Ģeotehniskā izpēte sniedz informāciju par būvpatnes uzbūvi – nogulumu slāņiem

vai gruntsūdens apstākļiem, kā arī nodrošina kvantitatīvos datus modeļu izveidei, kuros analizēta būves mijiedarbība ar būvpatni.

Sākotnējā stadijā veido konceptuālo modeli, kas raksturo apskatāmās sistēmas vispārīgu uzbūvi un galvenos procesus. Balstoties uz to, var veidot skaitlisko modeli.

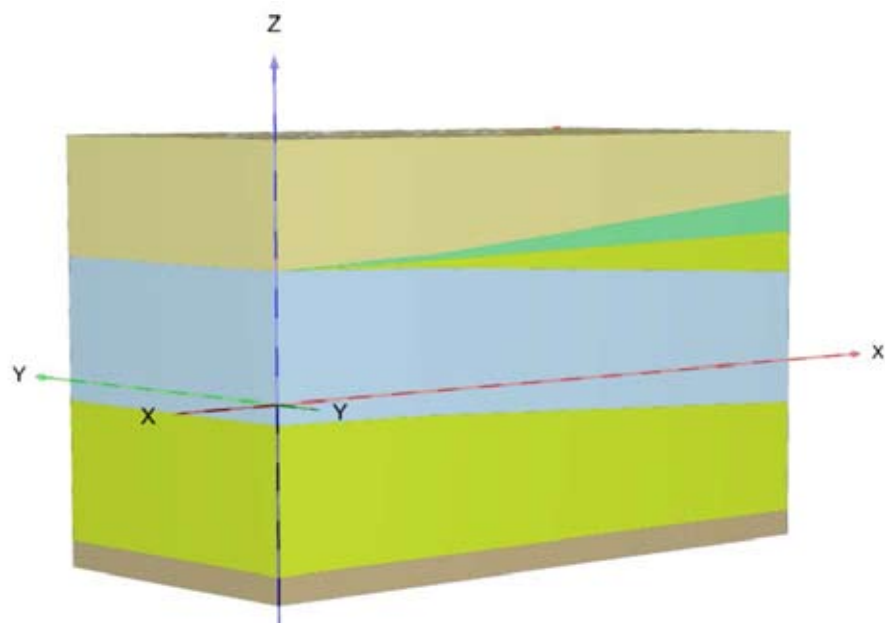
Pirms datoru plašas pieejamības izmantoti rokas aprēķinam pielāgoti analītiskie modeļi, kuros sakarības izteiktas matemātiskās formulās. Līdz ar datoru ēras iestāšanos ievērojami samazinājušies modelēšanas ierobežojumi. Var izpildīt arvien sarežģītākus aprēķinus, lietojot galīgo elementu metodi, ko izmanto sistēmas fizikālai modelēšanai, proti, virtuālajam modelim izveido objektam dabā līdzīgu ģometriju no galīgo elementu tīklojuma. Ģeotehniskajā projektēšanā galīgo elementu metodei ir plašs lietojums, jo fizikālie modeļi labi ļauj apskatīt spriegumus grunts masīvā. Šiem modeļiem jāizmanto augstas veiktspējas datori un precīzi modelēšanas dati.

## 2D un 3D

Lai atvieglotu aprēķinus, ģeotehniskajā projektēšanā vēl aizvien plaši lieto 2D modeļus. Visu 2D modeļu svarīga iezīme – reālie dabas objekti ir reducēti divās dimensijās. 2D modeļos izvēlēts būvpatnes raksturīgais griezumums, kurā izpildīti aprēķini. Jārēķinās ar to, ka sistēma apskatīta divās dimensijās, trešā dimensija ir reducēta uz vienu esošo metru. Šādi modeļi efektīvi lietojami lineāru būvobjektu modelēšanai, piemēram, būvbedres at-

**PROGRAMMATŪRAS RISINĀJUMI**  
ģeologiem, ģeotehniķiem un citiem nozares pārstāvjiem





1. attēls. 3D ģeoloģiskā modeļa piemērs.

balstsienai vai lentveida pamatam. Šajā gadījumā problemātiska var būt aprēķinu precizitāte sienas vai pamata stūru punktos, kā arī piemērotāko griezumumu izvēle 3D mainīgā ģeoloģiskajā vidē. Tādēļ 2D modeļu lietošana intensīvā apbūvē pilsētvidē var būt problemātiska.

Otrs svarīgs aspekts – atšķirībā no atbalstsienas vai lentveida pamata, ko var reducēt uz divām dimensijām, berzes pāļi ir tipiski 3D elementi. Apskatot cilindrisku berzes pāli vertikālai plaknei paralēlā griezumā, tiks modelēta taisnstūra prizma ar šķērsriezuma malas garumu 1 m. Savukārt griezumā, kas paralēls horizontālai plaknei, nevar apskatīt dažādus grunts slāņus ar mainīgiem fizikāli mehāniskajiem raksturlielumiem.

Ģeotehnikā 3D modeļus sāka izstrādāt nesen, tādēļ nākotnē gaidāmi uzlabojumi. 3D modeļiem atkarībā no 2D raksturīgas kompleksas skaitliskās simulācijas, tādēļ nepieciešams ilgstošs simulācijas laiks. 3D modeļu lietotāji būs ievērojuši, ka rezultāta iegūšanai

standarta datoru var nākties atstāt neizslēgtu visu nakti vai pat ilgāk. Sevišķi apjomīgi no datoru resursu patēriņa viedokļa ir 3D modeļu optimizācijas uzdevumi, kur modeļa simulācija jāatkārto vairākas reizes.

#### Daudzveidīgas funkcijas

*Plaxis 3D* ir galīgo elementu programma, kas atšķirībā no analītiskajiem modeļiem pilnīgāk simulē apskatāmās sistēmas fizikālo uzbūvi. To panāk, veidojot galīgo elementu tīklojumu. Svarīgi lietot modelim atbilstošu galīgā elementa lielumu, jo pārlietu lieli galīgie elementi sniegs neprecīzu modelēšanas rezultātu, savukārt pārāk mazi elementi var rezultēties pārmērīgi ilgā modelēšanas laikā vai modeļa nekonverģencē, un modelēšanas problēmu nevarēs atrisināt.

Ģeotehniskās modelēšanas programmas *Plaxis 3D* funkciju klāsts ir ļoti daudzveidīgs un ļauj izmantot integrētu modelēšanu, apskatot ģeoloģiskos aspektus, piemēram, 3D slāņu virsmas, klimatiskos rādītājus – nokriš-

ņi, grunts sasalšana un citi, kā arī antropogēnos faktorus – vibrācijas, drenāža u. tml. – būvniecības un inženierizpētes vajadzībām.

Programmā var veidot 3D ģeoloģisko modeļus ar kompleksu ģeoloģisko uzbūvi, kā parādīts 1. attēlā.

#### Grunts un pazemes ūdeņi

*Plaxis* izceļas ar ļoti plašu grunts materiālu modeļu klāstu. Līdz ar klasisko Mora-Kolumba (Mohr-Coulomb) grunts materiāla modeli var lietot Huka-Brauna (Hoek-Brown) modeli klīniskajiem vai tikai *Plaxis* programmā pieejamo *Hardening soil* (Grunts cietināšana – angl.) modeli, kas labāk raksturo grunts deformācijas slodzes ietekmi. Diemžēl papildinošajiem materiālu modeļiem vajadzīgi atbalstoši grunts mehāniskie parametri, kuru noteikšanai dabā Latvijā var nebūt pieejamas atbilstīgas iekārtas vai arī trūkst zināšanu, kā nepieciešamos datus atvasināt no jau zināmajiem parametriem, kas noteikti CPT testos jeb *Cone Penetration Test*, divas bīdes iekārtā u. c.

Programmā *Plaxis* pieejams attīstīts pazemes ūdeņu modulis, ļaujot ņemt vērā mainīgus nokrišņus un pazemes ūdeņu plūsmu nepiesātinātajā zonā, modelēt gruntsūdeņu drenāžu būvlaukuma atsūknēšanas akās. Iespējams apskatīt pazemes ūdeņu un vibrāciju mijiedarbību, jo ūdens piesātinātos smilšainos nogulumos vibrāciju ietekmē var veidoties izteiktas deformācijas, kas ir nopietns risks būvobjektos intensīvā apbūvē Rīgā. Var integrēti modelēt būvlaukuma drenāžas un apkārtējās teritorijas deformācijas, kas veidojas, pazeminot gruntsūdens līmeni. Būvbedres nostiprināšanai var lietot dažādas atbalstsienas un izpildīt to dimensionēšanu 3D vidē, kas nepieciešams objektiem blīvā apbūvē, lai precīzi modelētu grunts masīva deformāciju ietekmi uz apkārtējām ēkām. Var izmantot 3D nogāžu stabilitātes modelēšanu un 3D seklo vai dziļo pamatu dimensionēšanu, kas tiks aplūkota praktiskos modelēšanas piemēros nākamajā žurnāla *Būv-inženieris* numurā. BI